

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации Бунтова Алексея Евгеньевича «Устойчивость монолитных крепей подземных сооружений с учетом пористой структуры материала и сложной реологии сжатого скелета», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

1. Актуальность темы диссертационной работы.

В горной промышленности при добыче и хранении полезных ископаемых используются шахты различной ориентации, а также сферические полости. Если подземные конструкции не имеют специальных подкреплений, то грунт со временем обсыпается в силу специфики своих свойств, а также под действием случайных толчков и других нагрузок. В результате образуются завалы, приводящие к гибели людей и остановкам производства. Применение крепей позволило улучшить прочностные характеристики шахтных конструкций, но и в подобных случаях бывает, что крепи не выдерживают больших нагрузок и происходит подземная катастрофа. Поэтому в механике горных пород одним из основных объектов исследования являются горные выработки и их крепи.

Анализ возможности разрушения крепежных конструкций, разработка конструктивно-технологических мероприятий, обеспечивающих безаварийное функционирование выработок и подземных полостей, определяют актуальность тематики данной работы.

Разрушение крепи подземного сооружения может происходить не только вследствие недостаточной её прочности, но и за счет потери устойчивости. В большинстве случаев процесс потери устойчивости происходит при неупругих деформациях; поэтому при моделировании этого явления используются модели, учитывающие одновременно упругие, вязкие, пластические свойства. Наряду с перечисленными свойствами необ-

ходимо учитывать пористую структуру, которой обладают реальные материалы.

Из сказанного ясно, что актуальность тематики диссертационной работы А.Е. Бунтова, посвященной исследованию потери устойчивости монолитных крепей вертикальных горных выработок и подземных сферических полостей при моделировании материалов пористой средой со сложными реологическими свойствами полностью сжатого скелета не вызывает сомнений.

2. Научная новизна исследования, обоснованность и достоверность результатов.

Для исследования вопроса устойчивости основных напряженно-деформированных состояний монолитных цилиндрических и сферических крепей подземных сооружений автор использовал модель среды, учитывающую внутреннюю структуру материала, сжатая матрица которой обладает одновременно упругими, пластическими и (или) вязкими свойствами. Новизна работы состоит как в разработке метода решения, так и в решении класса задач устойчивости монолитных крепей вертикальных и сферических горных выработок в рамках предложенной модели и ее частных случаев.

Первая глава диссертационного исследования посвящена вопросу устойчивости деформирования пористых сред со сложной реологией сжатого скелета при малых начальных деформациях в рамках трехмерной линеаризованной теории устойчивости. Приводятся соотношения, определяющие деформированное состояние пористой среды при упругопластическом или упруговязкопластическом поведении сжатого скелета. Дается постановка задач устойчивости для пористых сред с полностью сжатым скелетом, обладающим одновременно упругими, вязкими и пластическими свойствами. Приводится запись основных уравнений ТЛТУДТ в цилиндрической и сферической системах координат.

Существенное внимание уделено выбору и разработке методов решения конкретных классов краевых задач при неоднородных докритических состояниях. Предложен алгоритм поиска критических нагрузок, соответствующих потере устойчивости монолитных крепей подземных сооружений.

Вторая глава посвящена математическому моделированию напряженно-деформированных состояний монолитных цилиндрических и сферических крепей подземных сооружений с учетом внутренней структуры материала и сложных реологических свойств полностью сжатой матрицы. При этом процесс деформирования пористого материала, находящегося под действием заданных равномерно распределенных сжимающих нагрузок делится на два взаимосвязанных этапа: упругое деформирование материала при наличии несжатых пор и неупругое (упругопластическое или упруговязкопластическое) деформирование полностью сжатого скелета. В аналитическом виде найдены зависимости, описывающие напряженно-деформированные состояния монолитных крепей цилиндрической и сферической формы на первом этапе деформирования; найдены нагрузки, под действием которых происходит полное сжатие пор для всей области крепи; выведены зависимости, описывающие поля напряжений, деформаций и перемещений для рассматриваемых монолитных крепей в упругой и пластической областях деформирования сжатого скелета на втором этапе, а так же выведены уравнения для определения радиусов упругопластических границ в каждой рассматриваемой задаче.

Решение подобных задач осложняется множеством факторов: учет пористой структуры материалов, существование областей с различными свойствами в каждой из них, наличие неизвестной границы раздела зон упруго и пластического деформирования материала, которая находится из решения задачи о докритическом состоянии и др. Все это создает существенные дополнительные математические трудности. Функциональные

решения во всех перечисленных областях сопрягаются между собой корректно сформулированными кинематическими и статическими граничными условиями.

Третья глава посвящена исследованию вопросов о пространственной и осесимметричной формах потери устойчивости монолитных крепей вертикальной горной выработки и подземной сферической полости для материалов с полностью сжатой матрицей, обладающей упрочняющимися упругопластическими или упруговязкопластическими свойствами на основе соотношений точной трехмерной линеаризованной теории устойчивости. Для каждой из рассматриваемых задач находятся области устойчивости, оценивается влияния геометрических параметров конструкции, а также различных физико-механических параметров материала на величины критических давлений, соответствующих потери устойчивости крепи. В рамках метода конечных разностей выведены в виде определителей характеристические уравнения для каждой из рассматриваемых задач.

В работе получены новые результаты: по моделированию напряженно-деформированных состояний монолитных крепей вертикальных горных выработок и подземных сферических полостей с учетом начальной пористости материалов и неупругих свойств полностью сжатого скелета; по устойчивости деформирования указанных подкрепляющих сооружений для различных моделей сред в рамках трехмерной линеаризованной теории устойчивости. На основании анализа решений сделаны логические выводы.

Результаты моделирования устойчивости процессов деформирования и состояний равновесия монолитных крепей рассматриваемых подземных конструкций проведены в соответствии с предложенной моделью пористой среды и согласуются с известными экспериментами и общими физическими представлениями. Модель является адекватной, так как полученные результаты сопоставимы с уже известными экспериментальными

ми данными. В диссертационной работе применяются аналитические и численные методы – метод математического моделирования реологических сложных материалов, метод возмущений, метод конечных разностей, использование которых в решении многих задач механики сплошных сред показало их высокую эффективность. Все вышесказанное подтверждает обоснованность и достоверность проведенных исследований.

3. Значение для науки и практики результатов исследования

Полученные в диссертации результаты обладают научной ценностью, поскольку они вносят вклад в совершенствование подходов и методов при решении вопросов устойчивости подкрепленных подземных сооружений и их монолитных крепей на средних и больших глубинах, способствуют более глубокому пониманию процессов, происходящих в этих пространственных конструкциях и могут служить основой для дальнейшего развития исследований в этом направлении.

Практическая значимость результатов диссертации обусловлена тем, что полученные автором результаты могут быть использованы при проведении мероприятий, обеспечивающих безаварийную эксплуатацию горных выработок путем уточнения расчетных критических параметров (нагрузок, толщины и формы поперечных сечений крепи), что в итоге позволяет снизить материалоемкость и прочие затраты.

4. Замечания

Диссертация А.Е. Бунтова представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Она является весьма ценной как с теоретической, так и с прикладной точки зрения. Несомненно, что исследования по этой тематике целесообразно продолжать.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации используется нестандартный термин «отказ» (стр. 6, 22 - 24, 28-30, 70, 71, 142, 151, 162, 171 и др.), который следует понимать, как общепринятый термин «потеря устойчивости».

2. Не учитывается тот факт, что сила тяжести имеет переменный характер при удалении от дневной поверхности.

3. Решение автором задачи об определении НДС монолитной цилиндрической крепи вертикальной горной выработки в рамках плоской деформации является не бесспорным.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают ценности проведенных исследований в целом.

5. Общая оценка диссертационной работы

Диссертация А.Е. Бунтова посвящена методологическим, теоретическим и прикладным исследованиям в области устойчивости монолитных крепей горных выработок; применению модели, описывающей напряженно-деформированное состояние пористых сред со сложными механическими свойствами сжатого скелета и ее частных случаев при решении конкретных прикладных задач механики горных пород. Диссертантом получены новые теоретические результаты, имеющие прикладную направленность. Им внесен значительный личный вклад в решение поставленных задач. Исследования выполнены на высоком научном уровне. Результаты опубликованы в 16 научных трудах, доложены на 7 международных и всероссийских научных конференциях с 2013 по 2016 гг. Автореферат в достаточной мере отражает основное содержание диссертации.

Обобщая вышесказанное и учитывая новизну, теоретическую и практическую значимость проделанных исследований и их достоверность, считаю, что представленная к защите диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п. 9 положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, а ее автор Бунтов Алексей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук,
научный сотрудник, ФГБУН «Институт проблем
механики им. А.Ю. Ишлинского» РАН

119526, г. Москва, пр. Вернадского д. 101 к. 1

Телефон: +7-495-434-21-59

E-mail: murashkin@ipmnet.ru

Е. В. Мурашкин

Подпись Е.В. Мурашкина заверяю

Зам. директора по науке,

д.ф.-м.н., проф.



А.В. Манжиров